PRÉFACE A L'ÉDITION FRANÇAISE

LE TITRE *de ce livre a déconcerté quelques lecteurs; son sens est double: théorie scientifique de l'information d'une part, mais aussi : application de la théorie de l'information à des problèmes de science pure. En somme, action et réaction entre Science et Information. Ces deux aspects réciproques sont tous deux essentiels. Il fallait commencer par rappeler les origines, techniques et très pratiques, de la théorie et ses surprenants succès dans le domaine des télécommunications. Ceci dit, le but essentiel était d'étendre ces méthodes et ces raisonnements à des problèmes purement scientifiques. Le champ nouveau d'application couvre surtout la thermodynamique statistique. Une nouvelle présentation d'ensemble en résulte, et jette des clartés imprévues sur une grande variété de problèmes.*

Je dois tout particulièrement remercier mon ami M. Parodi pour le soin et l'attention qu'il a apportés à cette traduction; je dois aussi remercier Madame M. Serruys qui a collaboré à ce travail. Le livre anglais paru en 1956 *a rapidement connu un gros succès et j'espère que les lecteurs français apprécieront cet ouvrage. J'ai profité de l'occasion pour apporter de nombreuses corrections et ajouter divers compléments dans les chapitres terminaux.*

Paris, Novembre 1958.
L. BRILLOUIN.

INTRODUCTION

Le développement récent de la théorie de l'information a ouvert à la science de nouveaux domaines; de nouveaux champs d'observation ont été découverts qui ont immédiatement attiré des pionniers et des explorateurs. C'est, dans l'histoire des sciences, un phénomène qui mérite d'être retenu et ce soudain développement d'un domaine de recherche scientifique vaut d'être étudié avec soin. Comment cela est-il arrivé? Quelle en fut la portée? Jusqu'où peut-on encore aller? S'agit-il d'une invasion par la science d'un domaine traditionnellement réservé à la philosophie ou de la découverte d'une nouvelle contrée, d'une sorte de « no man's land », ayant jusqu'à présent échappé aux explorateurs? Toutes ces questions demandent examen et méritent une réponse précise.

Tout d'abord, qu'est-ce que l'information? Le dictionnaire de Wesbter donne la définition : « Communication ou réception de renseignements. Faits, tout prêts à être communiqués, et que l'on doit distinguer de ceux relevant de la pensée ou de ceux incorporés dans une théorie ou un corps de doctrine. Données, faits nouveaux, renseignements, connaissances résultant de l'étude d'une observation ». On peut poser que l'information est le matériau brut et qu'elle consiste en une collection de données, tandis que la « connaissance », la science demandent une certaine réflexion, un effort de la pensée et l'organisation de cet ensemble de données par comparaison et classification. Ce n'est que dans une étape ultérieure que l'on parvient à la connaissance scientifique et à la formulation scientifique des lois.

Comment est-il possible de construire une théorie scientifique de l'information? Il faut d'abord partir d'une définition scientifique de cette dernière. La science commence là où la signification des mots est étroitement précisée. On peut choisir des mots dans le vocabulaire existant ou bien en fabriquer de nouveaux, mais ils doivent tous avoir une signification telle qu'elle ne conduise à aucun malentendu, à aucune ambiguïté dans les chapitres de la science où on les utilise. Il est évident que le même mot peut être utilisé avec un sens différent dans deux branches distinctes de la recherche scientifique; ainsi le mot « racine » a un sens parfaitement clair pour celui qui étudie l'algèbre et un sens tout différent, également précis, pour le botaniste, toutefois le risque de confusion est faible lorsque l'on envisage des domaines aussi nettement différents. Les « racines » de l'algébriste ne peuvent pousser et les « racines » du botaniste ne peuvent devenir imaginaires! L'unicité de la signification d'un mot est caractéristique de la méthode scientifique. Puisque des définitions analogues ont été posées par les scientifiques de tous les pays, la traduction se fait facilement par une correspondance mot à mot entre vocabulaires

scientifiques. Si une telle circonstance se présentait couramment dans la vie, la compréhension entre peuples serait particulièrement aisée!

Le profane ressent une sensation désagréable lorsque des mots courants sont utilisés avec de nouvelles définitions scientifiques et il est tenté, de qualifier une telle façon de faire de « jargon scientifique ». Mais ce « jargon » est de règle dans tout domaine spécialisé — en théologie et même en philosophie — comme dans l'art de l'ingénieur. Le profane ne peut pas comprendre le langage des spécialistes parce qu'il ne connait pas le sujet que l'on étudie.

La définition précise d'un mot dans le parler scientifique repose, habituellement, sur deux méthodes distinctes. En mathématiques, les définitions reposent sur l'introduction de postulats nettement précisés; on en déduit des entités plus complexes qui se trouvent définies en fonction de ces postulats. Les nouvelles définitions se réduisent à la traduction verbale de formules exprimées par des symboles et reposant sur ces postulats. Les sciences expérimentales ont introduit un autre type de définitions, souvent appelées « opérationnelles ». La force, la masse, la vitesse etc..., sont définies par une brève description du mode d'expérience que demande leur mesure. Le point de vue opérationnel a été chaudement recommandé, dans les sciences expérimentales, par de nombreux savants éminents et le nom de P. W. Bridgman a été souvent cité à ce propos. En règle générale, il a été jugé convenable de n'introduire dans le parler scientifique que des quantités qui peuvent être définies opérationnellement. Les mots qui ne sont pas susceptibles d'une définition opérationnelle ont, souvent, été considérés comme sans signification scientifique et ont été éliminés du vocabulaire. Souvenons-nous, par exemple, du mot « éther » et comment la théorie de la relativité l'a dépouillé de toute signification.

Revenant à la théorie de l'information, on doit partir d'une définition précise du mot « information ». Envisageons un problème qui comporte un certain nombre de réponses possibles lorsque l'on ne possède pas d'informations particulières sur la situation présente. Si l'on parvient à obtenir quelque information sur le problème, le nombre des réponses possibles se trouve diminué et une information totale peut même conduire à une seule réponse possible. L'information est une fonction du rapport des réponses possibles après et avant qu'on l'ait reçue; on a choisi une loi logarithmique afin de pouvoir additionner les informations qui correspondent à des situations indépendantes. Ces problèmes et les définitions correspondantes sont étudiés au premier chapitre; ils constituent le point de départ de la nouvelle théorie.

Les méthodes de cette théorie peuvent être appliquées avec succès à divers problèmes concernant l'information : codage, télécommunication, machines à à calculer mécaniques etc... Dans tous ces problèmes, on transforme véritablement l'information ou on la transmet d'un point à un autre et la présente théorie trouve son extrême utilité en posant les règles, en introduisant les limites exactes qui précisent dans quelles circonstances cela peut être fait ou non. Mais, il est impossible de décrire le mécanisme de la pensée, impossible aussi, pour l'instant, de faire intervenir la valeur humaine de l'information. *L'élimination de l'élément humain* se présente comme très sérieuse limitation, mais elle correspond, en fait, au prix inévitable que comporte la fondation d'une doctrine scientifique. Les restrictions ainsi introduites permettent de donner une définition quantitative de l'information

et de traiter l'information comme une grandeur mesurable. Cette définition ne permet pas, toutefois, de distinguer une information ayant une grande importance, d'une information secondaire n'ayant guère de valeur pour celui qui la reçoit.

Une telle définition parait artificielle à première vue, mais, en fait, elle est pratique et scientifique. Elle repose sur la connaissance, pour chaque problème à étudier, d'un ensemble de données statistiques qui, une fois obtenues, sont les mêmes pour tous les observateurs. Ainsi notre définition de l'information est tout à fait objective, indépendante de l'observateur. A côté de celà, la « valeur » de l'information est évidemment subjective, relative à l'observateur. L'information contenue dans une phrase peut être très importante pour moi et sans intérêt pour mon voisin. De même, un journal peut être lu avec intérêt par maints lecteurs, alors qu'un théorème d'Einstein qui force l'attention des physiciens, n'a pas de valeur pour un profane.

Tous ces éléments, relatifs à la valeur humaine de l'information sortent du cadre de la présente théorie. Ceci ne veut pas dire qu'on doive les négliger définitivement, mais seulement que, pour le moment, il n'a pas été possible de les étudier sérieusement et de les classer. Ces problèmes feront, à n'en pas douter, l'objet des recherches à venir, et il est à souhaiter qu'ils soient étudiés suivant des méthodes scientifiques.

La présente théorie s'étend sur le « no mans' land » de l'information absolue, sur un ensemble de problèmes que ni les scientifiques, ni les philosophes n'avaient jusqu'à présent étudiés. Si nous pouvons l'étendre jusqu'à des problèmes de valeur, nous empiéterons sur un domaine réservé à la philosophie. Pourrons-nous un jour traverser cette frontière et reporter les limites de la science dans cette direction? C'est à l'avenir de nous répondre!

La définition de l'information absolue est d'une grande importance pratique. L'élimination de l'élément humain permet précisément de répondre à un ensemble de questions. L'ingénieur qui élabore un système téléphonique ne doit pas se soucier de la manière dont on se propose de l'utiliser pour transmettre des bavardages, des cotations en bourse ou des messages diplomatiques. Le problème technique est toujours le même, transmettre, quelle qu'elle soit, l'information avec exactitude et correctement. La constructeur d'une machine à calculer ne doit pas se préoccuper de savoir si elle sera utilisée pour élaborer des tables astronomiques ou calculer des chèques bancaires. Ignorer la valeur humaine de l'information est la seule façon de l'étudier scientifiquement, sans se laisser influencer par des préjugés ou des considérations émotionnelles.

La description physique a conduit à découvrir un lien remarquable entre l'information et l'entropie. Cette similitude a été signalée il y a longtemps par L. Szilard dans une publication déjà ancienne, datant de 1929; il s'y révêle comme un précurseur de la théorie actuelle. Dans ce travail, Szilard fait figure de pionnier dans cette contrée inconnue que nous avons explorée dans toutes les directions. Il étudie le problème du démon de Maxwell, problème qui est une des questions importantes étudiées dans cet ouvrage. La relation entre l'information et l'entropie a été redécouverte par C. Shannon dans l'étude d'une grande variété de problèmes et nous consacrons plusieurs chapitres à cette question. Nous montrons que l'information doit être considérée comme un terme négatif figurant dans l'entropie d'un système; en bref, l'information est de la néguentropie. L'entropie d'un système physique

est souvent considérée comme une mesure de l'incertitude où l'on se trouve sur la structure de ce dernier. Nous pouvons parvenir à ce résultat par deux chemins peu différents.

Tout système physique est incomplètement défini. Nous connaissons seulement les valeurs de quelques variables macroscopiques et nous sommes incapables de définir les positions exactes ainsi que les vitesses de toutes les molécules intérieures au système. Nous ne possédons qu'une information limitée et partielle sur notre système et il nous manque la plus grande partie de l'information relative à sa structure intime. L'entropie mesure le manque d'information; elle nous donne la quantité totale d'information qui fait défaut et qui est relative à la structure ultramicroscopique du système.

Cette façon de voir est exprimée par le principe de néguentropie de l'information qui se présente comme une généralisation immédiate du second principe de la thermodynamique puisque l'entropie et l'information doivent être étudiées de pair et ne peuvent être envisagées séparément. Le principe de néguentropie de l'information se trouve vérifié dans un grand nombre d'exemples variés, tirés de la physique théorique, dans son état actuel. Le point fondamental est de montrer que toute observation ou expérience effectuée sur un système physique conduit automatiquement à un accroissement de l'entropie du laboratoire. Il est alors possible de comparer la perte de néguentropie (accroissement de l'entropie du laboratoire) à la quantité d'information obtenue. Le rendement d'une expérience peut être défini comme le rapport de l'information obtenue à l'accroissement concomitant de l'entropie. Ce rendement est toujours inférieur à l'unité conformément au principe de Carnot généralisé. Des exemples montrent qu'il ne peut être voisin de l'unité que dans quelques cas particuliers; dans les autres cas il est très petit.

Cette méthode d'étude est très utile pour comparer les expériences fondamentales sur lesquelles repose la science, et plus particulièrement la physique. Elle conduit à de nouvelles recherches sur le rendement des diverses méthodes d'observation ainsi que sur leur coût et leur précision.

Une intéressante extension de cette discussion permet de conclure que la mesure des très petites dimensions est physiquement impossible. Le mathématicien définit l'infiniment petit, mais le physicien est tout à fait incapable de mesurer des dimensions dans ce domaine; l'infiniment petit est une pure abstraction, un rêve n'ayant aucune signification physique. Si l'on adopte le point de vue opérationnel, on peut convenir d'éliminer l'infiniment petit des théories physiques, et nous indiquons à la fin du chapitre XVI comment conduire une tentative de ce genre.

On peut espérer que la théorie scientifique de l'information constitue le point de départ d'un nouveau et important chapitre de la recherche scientifique, plus particulièrement en physique et en biologie. Il est déjà acquis que cette nouvelle théorie permet de rassembler et de regrouper un très grand nombre de faits épars, spécialement sur les définitions et mesures essentielles de la physique. La théorie nouvelle présente aussi l'avantage de consolider la position de la thermodynamique statistique et d'éliminer un bon nombre de paradoxes, comme le démon de Maxwell.
